

EP 04 / 51766

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 11 OCT 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 52 749.4

**Anmeldetag:** 12. November 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE

**Bezeichnung:** Ansteuerung eines Elektromotors mit  
kontinuierlicher Einstellung des  
Kommutierungswinkels

**IPC:** H 02 P 6/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

## Beschreibung

Ansteuerung eines Elektromotors mit kontinuierlicher Einstellung des Kommutierungswinkels

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Kommutierung der mindestens einen Phase eines Elektromotors.

- 10 Ein Umrichter (oder Stromwender) wird herkömmlicherweise verwendet, um eine Phase des elektromagnetischen Erregerfelds eines Elektromotors im Bereich des Nulldurchgangs umzupolen. Als Nulldurchgang wird die Stellung der Phase bezeichnet, in welcher die Phase parallel zu dem Statorfeld des Motors ausgerichtet ist, so dass kein Drehmoment auf den Rotor des Motors ausgeübt wird.
- 15

- Bei einem modernen Elektromotor, wie er insbesondere in der Antriebstechnik von Elektrofahrzeugen verwendet wird, erfolgt
- 20 die Kommutierung zumeist elektronisch mittels Leistungstransistoren.

- Für die Kommutierung eines solchen elektronisch kommutierten Motors wird häufig ein elektrischer Vollzyklus, d.h. eine volle Drehung des Erregerfeldes um  $360^\circ$ , in gleichförmige Zonen (oder "States") unterteilt. Zu Beginn einer jeden Zone können die Leistungstransistoren für die Kommutierung einer Phase an- oder ausgeschaltet werden. Der Zustand der Phase bleibt dann zumindest bis zum Ende der Zone erhalten, kann
- 30 aber optional durch ein pulsweitenmoduliertes (PWM-)Signal überlagert werden.

- Durch die Aufteilung des Vollzyklusses in Zonen wird eine diskrete Anzahl möglicher Kommutierungswinkel der oder jeder
- 35 Phase festgelegt. Als Kommutierungswinkel ist hierbei derjenige Teil des Vollzyklusses bezeichnet, während dessen die oder jede Phase angesteuert, d.h. erregt ist. Bei einer Auf-

teilung des Vollzyklusses in zwölf gleiche Zonen kann der Kommutierungswinkel beispielsweise  $180^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $120^\circ$ , ... betragen. Bisher wird ein Elektromotor häufig bei einem festen Kommutierungswinkel betrieben.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kommutierung eines Elektromotors anzugeben, durch welches für jeden Betriebspunkt des Motors ein gutes Antriebsergebnis erzielt wird. Ein gutes Antriebsergebnis äußert sich insbesondere in einer niedrigen und gleichmäßigen Stromaufnahme des Motors bei vergleichsweise hohem und zeitlich stabilem Drehmoment, einer geringen Belastung des Motors und/oder des Umrichters, einer guten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Motors, einer guten elektromagnetischen Verträglichkeit, etc.

10 Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine besonders geeignete Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens anzugeben.

15

Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Danach ist vorgesehen, den Kommutierungswinkel der oder jeder Phase des Elektromotors in Abhängigkeit der Drehfrequenz des Erregerfeldes und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße kontinuierlich zu variieren.

20

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass eine Variation des Kommutierungswinkels mit der Drehzahl des Motors oder der Motorleistung vorteilhaft ist. So führt ein Betrieb des Motors unter vergleichsweise hohem Kommutierungswinkel im hohen Drehzahl- oder Leistungsbereich zu einer guten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Motors, einer geringen Stromwelligkeit und einer vergleichsweise niedrigen Verlustleistung. Andererseits hat im niedrigen Drehzahl- oder Leistungsbereich der Betrieb des Motors unter vergleichsweise kleinem Kommutierungswinkel den Vorteil, dass die Transistoren und Kondensatoren des Umrichters vergleichsweise gering belastet werden, insbesondere zumal auf diese Weise ein Einsatz von PWM

30

35

nicht oder in geringerem Maße erforderlich ist. Der Erfindung liegt weiterhin die Überlegung zugrunde, dass eine diskrete, d.h. stufenweise Änderung des Kommutierungswinkels eine Unstetigkeit des Betriebsverhaltens des Motors zur Folge hätte.

5 Eine solche Unstetigkeit könnte erkanntermaßen im Betrieb des Motors nachteilig sein. Insbesondere wäre zu erwarten, dass der Motor in einem Übergangsbereich zwischen zwei Betriebspunkten hin und her springt. Hierdurch würden starke Schwankungen in der Stromaufnahme und dem Drehmoment auftreten, wodurch durch ständige Beschleunigung und Verzögerung des Rotor-  
10 tors eine vergleichsweise hohe Motorbelastung auftreten würde.

Indem der Kommutierungswinkel erfindungsgemäß kontinuierlich variiert wird, kann die Kommutierung des Motors in einfacher  
15 Weise auf jeden Betriebspunkt des Motors besonders gut angepasst werden, ohne dass eine solche Unstetigkeit auftritt.

In einer besonders einfach zu realisierenden Ausführung der Erfindung wird der Vollzyklus des Erregerfeldes in eine Anzahl von Zonen unterteilt, wobei die oder jede Phase des Motors entsprechend einem in Abhängigkeit dieser Zonen hinterlegten Steuermuster kommutiert wird. Dabei wird durch Variation der Winkelausdehnung mindestens zweier Zonen die kontinuierliche Variation des Kommutierungswinkels ermöglicht.

Vorzugsweise sind die Zonen in zwei Gruppen unterteilt, wobei Zonen derselben Gruppe stets dieselbe Winkelausdehnung aufweisen. Dabei sind die Zonen der verschiedenen Gruppen alternierend zueinander angeordnet, so dass eine Zone der ersten Winkelausdehnung stets auf eine Zone der zweiten Winkelausdehnung folgt und umgekehrt. Im Zuge der Einstellung des Kommutierungswinkels können dabei die Zonen der ersten Gruppe zugunsten der Zonen der zweiten Gruppe hinsichtlich ihrer  
30 Winkelausdehnung verkürzt oder verlängert werden. Die oder jede Phase wird zweckmäßigerweise über eine ungerade Anzahl aufeinander folgender Zonen angesteuert (oder erregt). Der  
35

Kommutierungswinkel wird folglich durch die Summe der Winkel-  
ausdehnungen von 1,3,5, ... aufeinander folgender Zonen fest-  
gelegt und variiert somit mit dem Größenverhältnis der Zonen  
der beiden Gruppen.

5

Bevorzugt wird der Kommutierungswinkel im Hinblick auf den  
Leistungsbereich des Motors derart eingestellt, dass der Kom-  
mutierungswinkel bei einer geringen Drehzahl oder bei einer  
geringen Leistung des Motors, minimal und bei einer hohen  
Drehzahl oder einer hohen Leistung maximal ist.

10

Für eine bedarfsangepasste Einstellung des Kommutierungswin-  
kels ist es besonders vorteilhaft als Steuervariable für den  
Kommutierungswinkel nicht die reine Drehfrequenz heranzuzie-  
hen, sondern eine Stellgröße, die, ähnlich der Gaspedalstel-  
lung eines Automobils, für die Motorleistung charakteristisch  
ist. Diese Stellgröße wird zeckmäßigerweise, insbesondere  
mittels eines PI(Proportional/Integral)-Reglers aus der (Ist-  
)Drehfrequenz und einer zugehörigen Sollgröße abgeleitet.

15  
20

Das Betriebsverhalten des Motors wird bevorzugt weiterhin  
durch Pulsweitenmodulierung der Phase verbessert. Dies bedeu-  
tet, dass die oder jede Phase innerhalb des Kommutierungswin-  
kels nicht konstant, sondern gepulst angesteuert wird. Die  
Weite, d.h. die Winkelausdehnung, dieser Einzelpulse wird  
wiederum in Abhängigkeit der Drehfrequenz oder der Stellgröße  
moduliert, d.h. variiert.

30

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, einzelne der  
vorstehend beschriebenen Parameter zur Steuerung des Be-  
triebsverhaltens des Elektromotors, d.h. des Kommutierungs-  
winkels sowie der Pulsweitenmodulierung in einem bestimmten  
Drehzahl- oder Leistungsbereich des Motors bevorzugt einzu-  
setzen. In diesem Sinne wird in einem Niederleistungsbereich  
des Motors bevorzugt Pulsweitenmodulierung eingesetzt, wäh-  
rend der Kommutierungswinkel konstant gehalten wird. In einem  
Hochleistungsbereich des Motors wird in dieser Ausführung des

35

erfindungsgemäßen Verfahrens dann der Kommutierungswinkel zwischen seinem Minimalwert und seinem Maximalwert variiert, während das Pulsweitenverhältnis konstant gehalten wird. Das Pulsweitenverhältnis beträgt hier insbesondere 100%, d.h. die  
5 oder jede Phase wird während des Kommutierungswinkels konstant angesteuert.

Das vorstehend beschriebene Verfahren ist wahlweise für eine unipolare Ansteuerung als auch eine bipolare Ansteuerung der  
10 oder jeder Phase vorgesehen.

Bezüglich der zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens vorgesehenen Vorrichtung wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 11. Danach  
15 umfasst die Vorrichtung einen Umrichter, der die mindestens eine Phase eines Elektromotors ansteuert. Der Umrichter wird seinerseits durch eine Steuereinheit angesteuert, wobei diese zur Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens ausgebildet ist.

Der Umrichter ist vorzugsweise ein mit Leistungshalbleiterbauteilen zur Beschaltung der oder jeder Phase bestückter elektronischer Umrichter. Die Steuereinheit ist hierbei insbesondere als mit entsprechenden Software-Modulen ausgestatteter Mikrocontroller ausgeführt. Denkbar wäre eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens aber auch bei einem mechanischen Umrichter. Die verfahrensgemäße Zoneneinteilung könnte hier durch geeignete, z.B. trapezförmige Gestaltung der  
20 Stromabnehmerflächen des Umrichters realisiert werden. Eine kontinuierliche Änderung des Kommutierungswinkels könnte dabei mittels einer geeigneten Steuereinheit durch leistungsabhängige axiale Verschiebung des Umrichters bezüglich der korrespondierenden Schleifkontakte erreicht werden.

Der Steuereinheit wird bevorzugt durch einen Sensor die  
35 (zeitabhängige) Orientierung des Erregerfelds und/oder dessen Drehfrequenz als Eingangsgröße zugeführt.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- 5    FIG 1        schematisch einen Elektromotor mit einem vorge-  
                 schalteten Umrichter und einer Steuereinheit zur  
                 Ansteuerung des Umrichters,  
                 FIG 2        schematisch eine Orientierung des elektromagneti-  
                 schen Erregerfelds bei einer dreiphasigen, bipolar  
10                   angesteuerten Ausführung des Elektromotors gemäß  
                 FIG 1 innerhalb eines Vollzyklusses,  
                 FIG 3        schematisch ein Steuermuster für den Elektromotor  
                 in Ausführung gemäß FIG 2,  
                 FIG 4        in einer Darstellung gemäß FIG 3 ein Steuermuster  
15                   für eine fünfphasige, unipolar angesteuerte Ausfüh-  
                 rung des Elektromotors,  
                 FIG 5        ein Stellglied für die Ableitung einer der Steuer-  
                 einheit als Eingangsgröße zugeführten Stellgröße  
                 anhand der (Ist-)Drehzahl und einer zugehörigen  
20                   Sollgröße,  
                 FIG 6        in einem schematischen Flussdiagramm ein Verfahren  
                 zur Kommutierung des Elektromotors gemäß FIG 1 und  
                 FIG 7        in einem Diagramm im Zuge des Verfahrens gemäß FIG  
                 6 in Abhängigkeit der Stellgröße vorgenommene Para-  
                 metereinstellungen.

Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren stets mit denselben Bezugszeichen versehen.

- 30    Das in FIG 1 grob vereinfacht dargestellte Schema zeigt einen  
         Elektromotor 1 mit einem in einem Stator 2 drehbaren Rotor 3.  
         Der Rotor 3 trägt einen Erregerkreis 4 zur Erzeugung eines  
         elektromagnetischen Erregerfelds  $F_1$ , das mit dem Rotor 3, und  
         damit gegen ein ortsfestes elektromagnetisches Statorfeld  $H$   
35    rotiert.

Wie in dem vereinfachten Schema gemäß FIG 1 nicht explizit dargestellt ist, weist der Elektromotor 1 in der Regel mehrere Erregerkreise 4 auf. Jeder Erregerkreis 4 produziert somit lediglich eine Komponente des gesamten Erregerfelds F. Ein Erregerkreis 4 sowie die von diesem erzeugte Komponente des Erregerfelds F sind zusammenfassend als Phase  $P_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) bezeichnet.

Der Erregerkreis 4 jeder Phase  $P_i$  ist an einen Umrichter 5 angeschlossen, mittels welchem ein Feld erzeugender Stromfluss in dem Erregerkreis 4 induzierbar ist. Dies wird als Ansteuerung oder Erregung der jeweiligen Phase  $P_i$  bezeichnet. Es wird dabei zwischen unipolarer und bipolarer Ansteuerung unterschieden. Bei unipolarer Ansteuerung ist der Stromfluss binär, d.h. zwischen einem "0"-Status und einem "1"-Status ein- und ausschaltbar. Bei bipolarer Ansteuerung ist der Stromfluss im Erregerkreis 4 umpolbar, so dass die jeweilige Phase  $P_i$  zwischen den Statuswerten  $-1, 0$  und  $+1$  steuerbar ist. Bei Umpolung des Stromflusses im Erregerkreis 4 der Phase  $P_i$  wird auch die Orientierung der zugehörigen Feldkomponente des Erregerfelds F umgepolt.

Die Beschaltung der Phasen  $P_i$  geschieht innerhalb des Umrichters 5 mittels (nicht näher dargestellter) Leistungstransistoren. Der Umrichter 5, und insbesondere dessen Leistungstransistoren, werden von einer als Mikrocontroller ausgeführten Steuereinheit 6 angesteuert. Die Steuereinheit 6 ist eingangsseitig über ein Stellglied 7 mit einem im Elektromotor 1 angeordneten Sensor 8, insbesondere einem Hall-Sensor, verbunden.

Der Sensor 8 erhebt ein für die zeitabhängige Orientierung des Erregerfelds F, und damit dessen Drehfrequenz  $f$  charakteristische Messgröße und leitet diese dem Stellglied 7 zu. Dem Stellglied 7 wird des Weiteren eine Sollgröße  $f_0$  für die Drehfrequenz zugeleitet. Anhand der (Ist)-Drehfrequenz  $f$  und der zugehörigen Sollgröße  $f_0$  ermittelt das Stellglied 7 auf



nachfolgend näher beschriebene Weise eine Stellgröße S und leitet diese der Steuereinheit 6 zu.

5 Der Umrichter 5 und die Steuereinheit 6 bilden zusammen mit dem Stellglied 7 und dem Sensor 8 eine Vorrichtung 9 zur Kommutierung der oder jeder Phase  $P_i$  des Elektromotors 1.

10 Das in FIG 2 abgebildete Schema zeigt eine Orientierung, d.h. eine "Momentaufnahme", des Erregerfelds F innerhalb eines Vollzyklusses 10. Als Vollzyklus wird eine Drehung des Erregerfelds F um einen Vollkreis von  $360^\circ$  bezeichnet. In der Darstellung gemäß FIG 2 ist der Elektromotor 1 dreiphasig und bipolar ansteuerbar ausgeführt. Das Erregerfeld F umfasst so-  
15 hierbei die drei Phasen  $P_1, P_2$  und  $P_3$ . Die Pfeilrichtung deutet hierbei die Polarität der jeweiligen Feldkomponente an. So ist die Phase  $P_1$  positiv angesteuert ("1"-Status), d.h. mit der positiven Versorgungsspannung verbunden. Die Phase  $P_3$  ist negativ angesteuert ist ("−1"-Status), d.h. mit negativer Versorgungsspannung oder GND verbunden. Die Phase  $P_2$  ist  
20 nicht angesteuert ("0"-Status), wie durch die fehlende Pfeilspitze angedeutet ist.

Der Vollzyklus 10 ist in zwölf Zonen  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 12$ ) aufgeteilt. Die Richtung des Statorfelds H verläuft in der Darstellung durch die Zonen  $Z_6$  und  $Z_{12}$ . Die Einteilung des Vollzyklusses 10 in Zonen  $Z_i$  dient einer vereinfachten Ansteuerung des Stromenders 5, indem der Status einer Phase  $P_i$  stets dann geändert werden kann, wenn die Phase die Grenzlinie zwischen zwei Zonen  $Z_i$  überquert. Gemäß FIG 2 wird jede Phase  $P_i$   
30 beim Übergang von Zone  $Z_0$  auf  $Z_1$  positiv angesteuert ( $0 \rightarrow 1$ ) und beim Übergang von Zone  $Z_5$  auf Zone  $Z_6$  wieder abgesteuert ( $1 \rightarrow 0$ ). Beim Übergang von Zone  $Z_6$  auf Zone  $Z_7$  wird die Phase  $P_i$  negativ angesteuert ( $0 \rightarrow -1$ ) und beim Übergang von Zone  $Z_{11}$  auf  $Z_{12}$  wieder abgesteuert ( $-1 \rightarrow 0$ ).

35

Der Winkel zwischen Ansteuerung und Absteuerung einer Phase  $P_i$  ist als Kommutierungswinkel  $\alpha$  bezeichnet. Die innerhalb

des Kommutierungswinkels  $\alpha$  eingeschlossenen Zonen  $Z_i$  bilden zusammen einen Kommutierungsbereich 11. Bei der in FIG 2 beispielhaft dargestellten Aufteilung des Vollzyklusses 10 in zwölf gleiche Zonen  $Z_i$  mit einer Winkelausdehnung von je  $30^\circ$ , und Kommutierungsbereichen 11, die jeweils fünf Zonen  $Z_i$  umfassen, beträgt der Kommutierungswinkel  $\alpha = 150^\circ$ .

Der Winkel zwischen der Orientierung des Statorfeldes H (und damit dem Nulldurchgang einer Phase  $P_i$ ) und dem Beginn des Kommutierungsbereichs 11 wird als Zündwinkel  $\beta$  bezeichnet. Im Beispiel gemäß FIG 2 beträgt der Zündwinkel  $\beta \approx 15^\circ$ .

Um den Kommutierungswinkel  $\alpha$  kontinuierlich verstellen zu können, ist die Winkelausdehnung der Zonen  $Z_i$  variabel. Die Zonen  $Z_i$  werden hierbei alternierend in eine die ungeradzahli- gen Zonen  $Z_l$  ( $l = 1, 3, 5, \dots, 11$ ) umfassende erste Gruppe und eine die geradzahli- gen Zonen  $Z_m$  ( $m = 2, 4, 6, \dots, 12$ ) umfassende zweite Gruppe aufgeteilt. Die Zonen  $Z_l$  der ersten Gruppe erhalten dabei eine Winkelausdehnung von

$$\delta_1 = \frac{360^\circ}{n} + \Delta\delta. \quad \text{GLG 1}$$

Die Zonen  $Z_m$  erhalten entsprechend eine Winkelausdehnung von

$$\delta_2 = \frac{360^\circ}{n} - \Delta\delta. \quad \text{GLG 2}$$

$n$  bezeichnet dabei die Gesamtanzahl der Zonen  $Z_i$ , im Beispiel gemäß FIG 2 somit  $n = 12$ . Für den Differenzwinkel  $\Delta\delta$  gilt

$$-\frac{360^\circ}{n} \leq \Delta\delta \leq \frac{360^\circ}{n}. \quad \text{GLG 3}$$

FIG 3 zeigt schematisch ein Steuermuster 12, wie es zur Ansteuerung des Umrichters 5 in der Steuereinheit 6 hinterlegt ist. Das Steuermuster 12 gemäß FIG 3 ist für einen dreiphasi-

gen, bipolaren Elektromotor 1 ausgelegt, der dem Schema gemäß FIG 2 entspricht. Das Steuermuster 12 ist in Form eines zweidimensionalen Diagrammes dargestellt, auf dessen Horizontalachse 13 der Orientierungswinkel  $\gamma$  der Phase P1 innerhalb des Vollzyklusses 10 (vgl. FIG 2) angetragen ist. Auf der Vertikalachse 14 ist die Stellgröße S kontinuierlich angetragen. Das hinterlegte Steuermuster 12 ist also innerhalb eines vorgegebenen Intervalls für jeden beliebigen Wert der Stellgröße S definiert. Aus Gründen der Darstellbarkeit ist das Steuermuster 12 in FIG 3 nur für drei daraus beispielhaft ausgewählte, diskrete Werte S1, S2 und S3 der Stellgröße S abgebildet.

In der Darstellung des Steuermusters 12 gemäß FIG 3 äußern sich die Zonen Zi als in horizontaler Richtung nebeneinander angeordnete Flächen, die durch gestrichelte Linien gegeneinander abgegrenzt sind. In Übereinstimmung mit dem auf der Horizontalachse 13 angetragenen Orientierungswinkel  $\gamma$  bezieht sich auch die in FIG 3 dargestellte Zonenbeschriftung auf die Orientierung der Phase P1 als Referenzphase. Die Position der Phase P2 ist hierzu stets um vier Zonen, die Position der Phase P3 stets um acht Zonen versetzt. Der Status jeder Phase Pi bei gegebenem Wert S1, S2, S3 der Stellgröße S ist in FIG 3 in Form einer Stufenfunktion mit den Werten -1, 0, 1 in Abhängigkeit des Orientierungswinkels  $\gamma$  wiedergegeben.

Aus FIG 3 ist ersichtlich, dass in Abhängigkeit der Stellgröße S das Größenverhältnis  $\delta_1/\delta_2$  benachbarter Zonen Zi und Z(i  $\pm 1$ ) variiert wird. So ist bei S = S1 der Differenzwinkel  $\Delta\delta$  negativ, so dass  $\delta_1 < \delta_2$  gilt. Umgekehrt ist bei S = S3 der Differenzwinkel  $\Delta\delta$  positiv, so dass  $\delta_1 > \delta_2$  gilt. Bei S = S2 wird der in FIG 2 dargestellte Spezialfall erreicht, bei dem der Differenzwinkel  $\Delta\delta$  verschwindet und dementsprechend alle Zonen Zi die gleiche Winkelausdehnung  $\delta_1 = \delta_2$  aufweisen. Die in FIG 2 dargestellte momentane Orientierung der Phasen P1, P2 und P3 ist in FIG 3 durch einen mit II gekennzeichneten senkrechten Strich angedeutet.

Durch Vergleich entsprechender Kommutierungsbereiche 11 zu verschiedenen Werten  $S_1, S_2, S_3$  der Stellgröße  $S$  wird deutlich, dass der (der Länge des Kommutierungsbereichs 11 entsprechenden) Kommutierungswinkel  $\alpha$  infolge der Änderung des Differenzwinkels  $\Delta\delta$  kontinuierlich variiert wird. Wie aus der Darstellung gemäß FIG 3 direkt zu entnehmen ist, gilt

$$\alpha = m \cdot \frac{360^\circ}{n} + \Delta\delta ,$$

GLG 4

wobei  $m$  die Anzahl von Zonen  $Z_i$  innerhalb eines Kommutierungsbereichs 11 bezeichnet. Allgemein ist  $m$  ungeradzahlig. Gemäß FIG 3 ist  $m = 5$ .

In FIG 4 ist ein alternativ ausgeführtes Steuermuster 12' dargestellt, das zur Ansteuerung einer fünfphasigen, unipolar angesteuerten Ausführung des Elektromotors 1 ausgelegt ist. Das Steuerprogramm 12 gemäß FIG 4 umfasst demnach Statusfunktionen für fünf Phasen  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ), die entsprechend der unipolaren Ansteuerung zwischen den diskreten Werten 0 und 1 variieren. Weiterhin ist der Vollzyklus 10 hier in zwanzig Zonen  $Z_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 20$ ) gegliedert. Das Steuermuster 12' entspricht ansonsten dem in FIG 3 beschriebenen Steuermuster 12.

Die Funktionsweise des Stellglieds 7 ist in FIG 5 näher ausgeführt. Hieraus ist erkennbar, dass die von dem Sensor 8 erhobene Drehfrequenz  $f$  und die zugehörige Sollgröße  $f_0$  einem Differenzmodul 15 zugeführt werden. Dieses gibt eine Differenzfrequenz  $\Delta f$  an einen PI(Proportional/Integral)-Regler 16 aus. Der PI-Regler 16 erzeugt die Stellgröße  $S$ , die - ähnlich der Gaspedalstellung eines Automobils - ein Maß für die momentane Leistung des Elektromotors 1 ist.

In FIG 6 ist das von dem Stellglied 7, der Steuereinheit 6 und dem Umrichter 5 durchgeführte Verfahren zur Kommutierung des Elektromotors 1 in einem schematisch vereinfachten Fluss-

diagramm dargestellt. Danach wird zunächst durch ein Modul 17 die Stellgröße  $S$  erhoben und einem Auswahlmodul 19 zugeführt.

Das Auswahlmodul 19 prüft, ob die Stellgröße  $S$  mindestens einem vorgegebenen Schwellwert  $S'$  entspricht, der einen Hochleistungsbereich 21 (FIG 7) des Elektromotors 1 von einem Niederleistungsbereich 22 abgrenzt. Ist die Bedingung  $S \geq S'$  erfüllt, so wird ein Modul 24 angesteuert. Anderenfalls, d.h. wenn sich der Elektromotor 1 im Niederleistungsbereich 23 befindet, ein Modul 25.

In jedem der Module 24 und 25 sind Regeln zur Ableitung einer Anzahl von Parametern in Abhängigkeit der Stellgröße  $S$  hinterlegt. Diese Parameter umfassen das sogenannte Pulsweitenverhältnis  $R$ , den Differenzwinkel  $\Delta\delta$ .

Das Pulsweitenverhältnis  $R$  wird im Rahmen einer Pulsweitenmodulation einer Phase  $P_i$  während des Kommutierungsbereichs 11 benötigt. Hierbei wird die Phase  $P_i$  während des Kommutierungsbereichs 11 pulsartig angesteuert. Das Pulsweitenverhältnis  $R$  gibt hierbei an, welcher Anteil des gesamten Kommutierungsbereichs 11 durch die Summe der Pulse eingenommen wird. So wird bei einem Pulsweitenverhältnis von  $R = 50\%$  die Phase  $P_i$  während des Kommutierungsbereichs 11 insgesamt nur zu 50% angeregt, während die restlichen 50% des Kommutierungsbereichs 11 durch Pausen zwischen den Pulsen eingenommen werden. Bei einem Pulsweitenverhältnis  $R = 100\%$  setzen die Pulse dagegen unmittelbar aneinander an, so dass die Phase  $P_i$  während des ganzen Kommutierungsbereichs 11 konstant angesteuert wird. Die Frequenz des PWM-Signals ist deutlich höher als die Kommutierungsfrequenz.

Wie aus FIG 7 erkennbar ist, wird die Kommutierung des Elektromotors 1 im Hochleistungsbereich 21 durch Variation des Differenzwinkels  $\Delta\delta$ , und damit nach GLG 4 durch Variation des Kommutierungswinkels  $\alpha$  gesteuert. Im Niederleistungsbereich

23 wird dagegen Pulsweitenmodulation zur Steuerung der Kommutierung eingesetzt.

Im Hochleistungsbereich 21 werden die Parameter  $R$  und  $\Delta\delta$  entsprechend nach den im Modul 24 hinterlegten Gleichungen

$$R = 100\% \quad \text{und} \quad \text{GLG 5a}$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_{\min} + c \cdot (S - S') \quad \text{GLG 5b}$$

bestimmt. Dabei ist  $\Delta\delta_{\min}$  ein vorgegebener Minimalwert des Differenzwinkels  $\Delta\delta$  und  $c$  eine vorgebbare Konstante, die derart gewählt ist, dass  $\Delta\delta \leq \Delta\delta_{\max}$  gilt. Nach GLG 4 wird bei der Änderung des Differenzwinkels  $\Delta\delta$  auch der Kommutierungswinkel  $\alpha$  zwischen einem im Niederleistungsbereich 23 eingestellten Minimalwert und einem im Hochleistungsbereich 20 eingestellten Maximalwert variiert.

Im Niederleistungsbereich 23 werden die Parameter  $R$  und  $\Delta\delta$  nach den im Modul 25 hinterlegten Gleichungen

$$R = \frac{S}{S'} \cdot 100\% \quad \text{und} \quad \text{GLG 6a}$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_{\min} \quad \text{GLG 6b}$$

eingestellt.

Soll beispielsweise bei dem dreiphasigen Elektromotor 1 gemäß FIG 2 und FIG 3 der Kommutierungswinkel  $\alpha$  in Abhängigkeit der Stellgröße  $S$  zwischen  $120^\circ$  und  $150^\circ$  sein, so sind  $\Delta\delta_{\min} = -360^\circ/n$  und  $\Delta\delta_{\max} = 0$  zu wählen.

Die Parameter  $R$  und  $\Delta\delta$  werden einem Ansteuermodul 26 zugeführt, das anhand des Steuermusters 12,12' die Leistungstransistoren des Umrichters 5 ansteuert. Jeder in dem Steuermuster 12,12' mit einem entsprechenden Orientierungswinkel  $\gamma$  angegebene Schaltvorgang kann unter Verwendung der Gleichung

$$t = t_0 + \frac{\gamma}{360^\circ \cdot f} + \Delta t$$

GLG 7

5 direkt in einen entsprechenden Schaltzeitpunkt  $t$  umgerechnet werden.  $t_0$  bezeichnet hierbei den Zeitpunkt des letzten Null- durchgangs der Phase  $P_1$ . Der Zeitpunkt  $t_0$  wird zusammen mit der momentanen Drehfrequenz  $f$  von dem Sensor 8 geliefert. Über die vorgebbare Zeitspanne  $\Delta t$  kann der Zündwinkel  $\beta$  eingestellt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Kommutierung der mindestens einen Phase ( $P_i$ ) eines Elektromotors (1), bei dem der Kommutierungswinkel ( $\alpha$ )  
5 der oder jeder Phase ( $P_i$ ) in Abhängigkeit der Drehfrequenz ( $f$ ) des elektromagnetischen Erregerfeldes ( $F$ ) des Elektromotors (1) und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße ( $S$ ) kontinuierlich variiert wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , dass ein Vollzyklus (10) des Erregerfeldes ( $F$ ) in eine Anzahl ( $n$ ) von Zonen ( $Z_i$ ) unterteilt wird, und die oder jede Phase ( $P_i$ ) entsprechend einem in Abhängigkeit dieser Zonen ( $Z_i$ ) hinterlegten Steuermuster (12,12') kommu-  
15 tiert wird, wobei die Winkelausdehnung ( $\delta_1, \delta_2$ ) mindestens zweier Zonen ( $Z_i$ ) zur Einstellung des Kommutierungswinkels ( $\alpha$ ) variiert wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , dass der Vollzyklus (10) in alternierend aufeinander folgende Zonen ( $Z_1$ ) einer ersten Gruppe und Zonen ( $Z_m$ ) einer zweiten Gruppe aufgeteilt ist, wobei Zonen ( $Z_1, Z_m$ ) der selben Gruppe jeweils die gleiche Winkelausdehnung ( $\delta_1, \delta_2$ ) aufweisen.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , dass die oder jede Phase ( $P_i$ ) über eine ungerade Anzahl ( $m$ ) aufeinanderfolgender Zonen ( $Z_i$ ) angesteuert wird.
- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Kommutierungswinkel ( $\alpha$ ) zwischen einem einer geringen Drehzahl ( $f$ ) und/oder Leistung entsprechenden Minimalwert und einem einer hohen Drehzahl ( $f$ ) und/oder Leistung entsprechenden Maximalwert variiert wird.



6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass anhand der Drehfrequenz ( $f$ )  
und einer zugehörigen Sollgröße ( $f_0$ ) die zur Einstellung des  
Kommutierungswinkels ( $\alpha$ ) herangezogene, für die Leistung ()  
5 charakteristische Stellgröße ( $S$ ) abgeleitet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die oder jede Phase ( $P_i$ ) in  
Abhängigkeit der Drehfrequenz ( $f$ ) des Erregerfeldes ( $F$ )  
10 und/oder der Stellgröße ( $S$ ) pulsweitenmoduliert angesteuert  
wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , dass in einem durch einen geringen Wert der  
15 Drehfrequenz ( $f$ ) oder Stellgröße ( $S$ ) gekennzeichneten Nieder-  
leistungsbereich (23) bei konstantem Kommutierungswinkel ( $\alpha$ )  
die oder jede Phase ( $P_i$ ) pulsweitenmoduliert angesteuert wird  
und dass in einem durch einen hohen Wert der Drehfrequenz ( $f$ )  
oder Stellgröße ( $S$ ) gekennzeichneten Mittelleistungsbereich  
20 (21) der Kommutierungswinkel ( $\alpha$ ) variiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die oder jede Phase ( $P_i$ )  
unipolar angesteuert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die oder jede Phase ( $P_i$ )  
bipolar angesteuert wird.

30 11. Vorrichtung (9) zur Kommutierung der mindestens einen  
Phase ( $P_i$ ) eines Elektromotors (1), mit einem Umrichter (5)  
und einer Steuereinheit (6) für den Umrichter (5), die zur  
Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11  
ausgebildet ist.

35

12. Vorrichtung (9) nach Anspruch 11, g e k e n n z e i c h -  
n e t d u r c h einen Sensor (8), der die Orientierung

und/oder die Drehfrequenz ( $f$ ) des Erregerfelds ( $F$ ) bestimmt und der Steuereinheit (6) als Eingangsgröße zuführt.

## Zusammenfassung

Ansteuerung eines Elektromotors mit kontinuierlicher Einstellung des Kommutierungswinkels

5

Für eine verbesserte Kommutierung der mindestens einen Phase ( $P_i$ ) eines Elektromotors (1) wird ein Verfahren angegeben, bei dem der Kommutierungswinkel ( $\alpha$ ) der oder jeder Phase ( $P_i$ ) in Abhängigkeit der Drehfrequenz ( $f$ ) des elektromagnetischen Erregerfeldes ( $F$ ) des Elektromotors (1) und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße ( $S$ ) kontinuierlich variiert wird. Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung (9) umfasst einen Umrichter (5) und eine diesen ansteuernde Steuereinheit (6), die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist.

10

15

FIG 3

Fig. 1

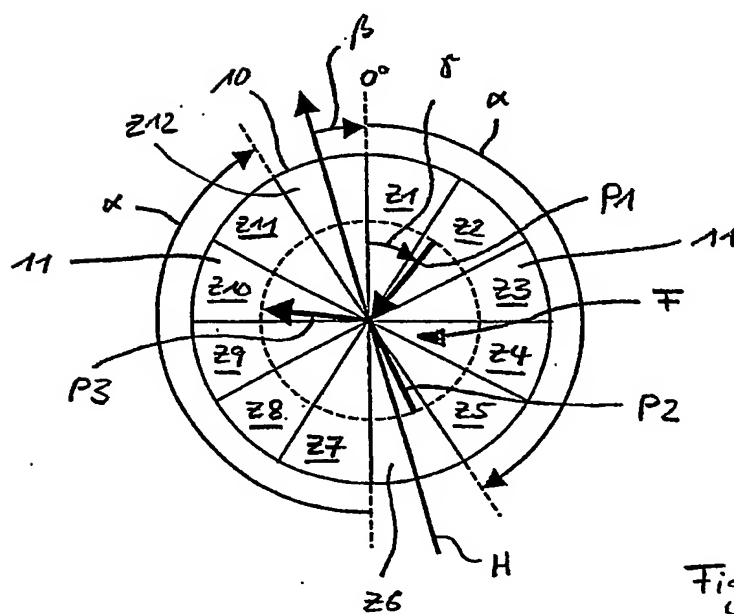
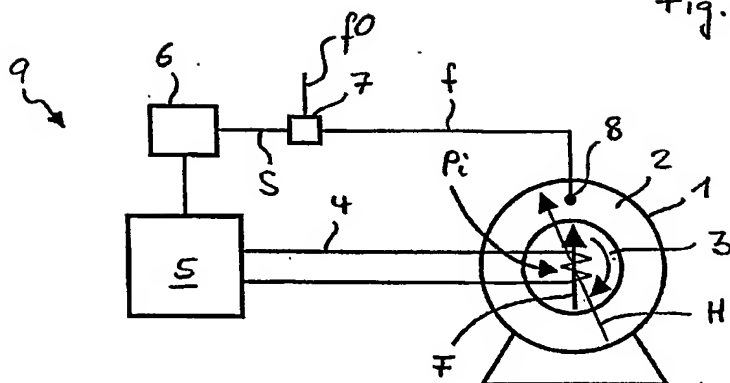


Fig. 2

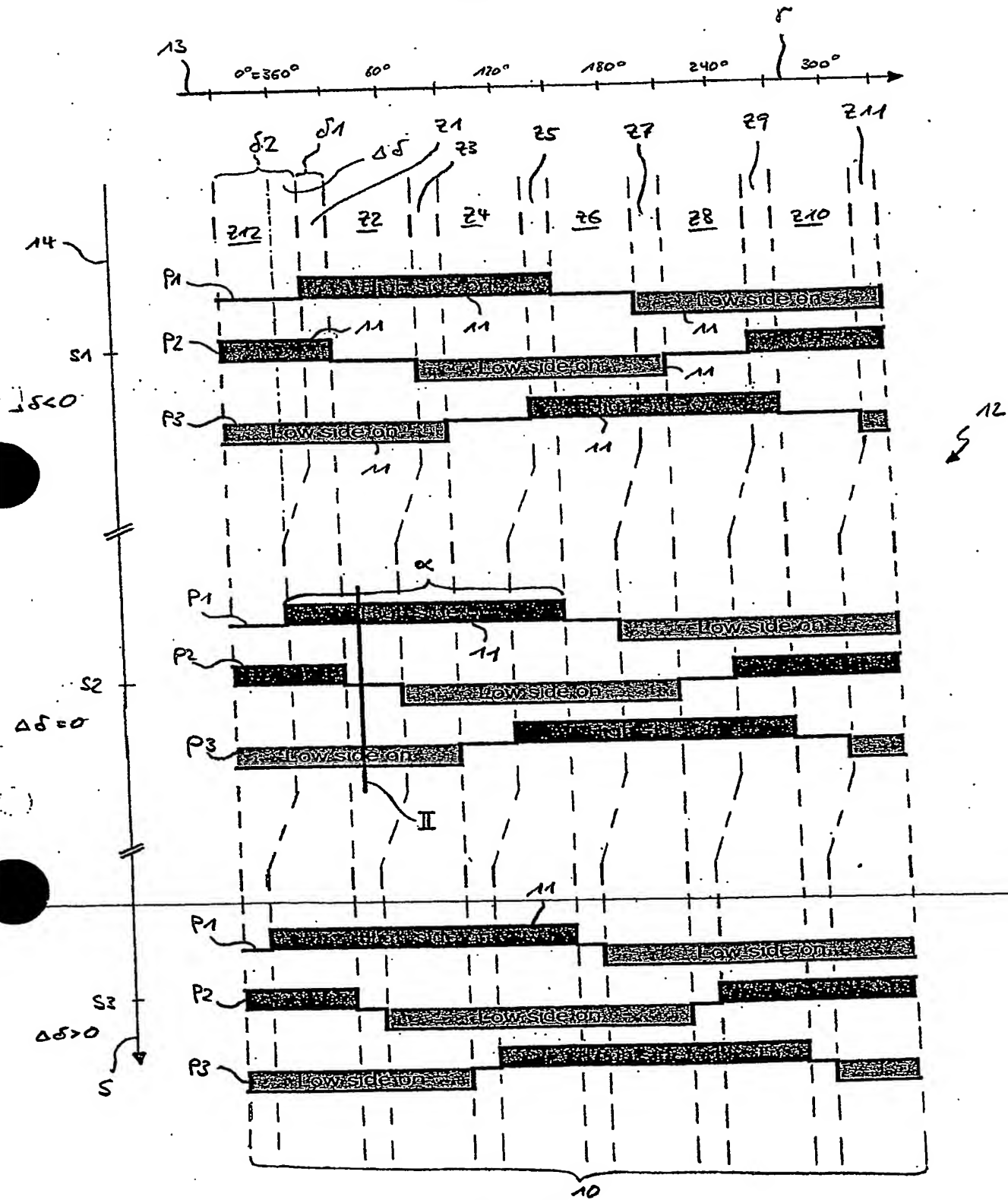


Fig. 3

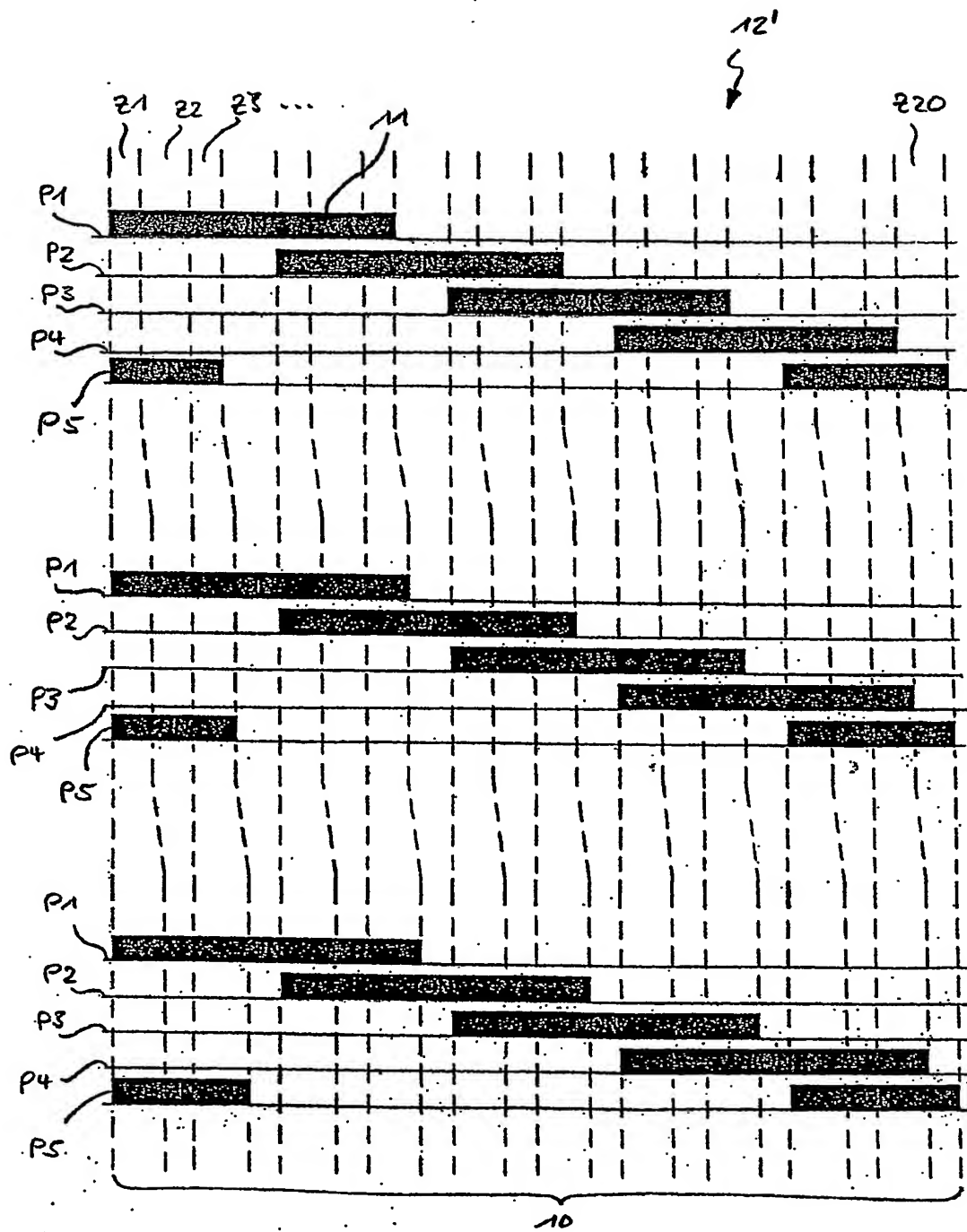


Fig. 4

4/5

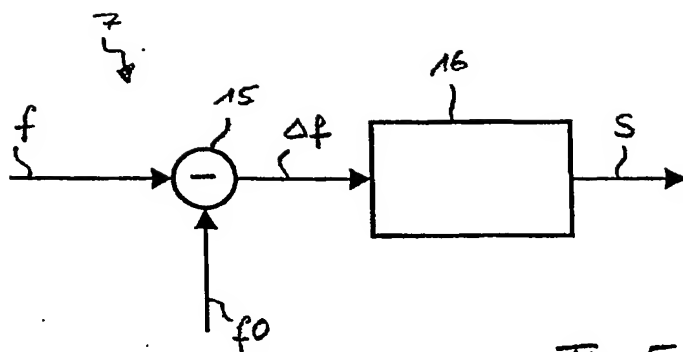


Fig. 5

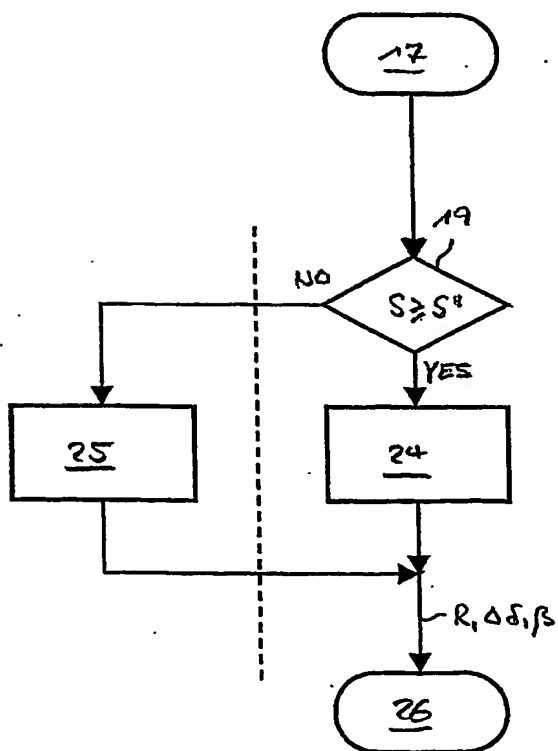
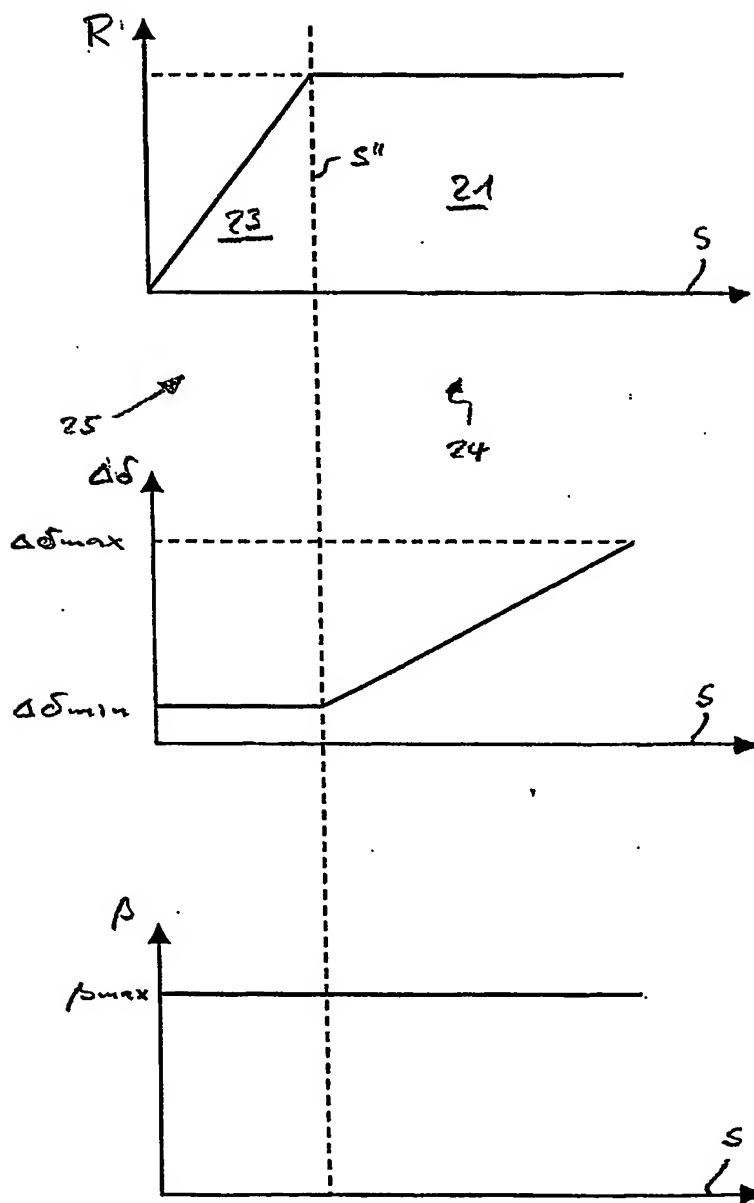


Fig. 6

S/5

Fig. 7





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**